

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА ИЗМЕНЕНИЕМ ВАКУУММЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДСОСКОВОЙ КАМЕРЕ ДОИЛЬНОГО СТАКАНА

С.Н. Бондарев,

ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению конструктивных параметров доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением в подсосковой камере доильного стакана во время такта «сжатие» и его проверки в производственных условиях.

Ключевые слова: животноводство, молоко, машинное доение, энергоёмкость, вакуум, реверсивное движение молока, шлюзовые каналы, уравнение регрессии.

The article presents the results of theoretical and experimental studies conducted to determine the design parameters of a milking machine with variable vacuum pressure in the suction chamber of a milking cup during the "compression" stroke and its verification in production conditions.

Key words: animal husbandry, milk, machine milking, energy intensity, vacuum, reverse movement of milk, sluice channels, regression equation.

Введение

Результаты исследований Н.П. Мишурова показывают, что на фермы для содержания крупного рогатого скота приходится более 50 % энергозатрат отрасли животноводства, где одним из основных производственных процессов является машинное доение [1].

Одной из причин высоких удельных затрат на процесс машинного доения является обратный отток молоковоздушной смеси из молокосорборной камеры коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов, возникающий при переходе к такту «сосание» (разжатие стенок сосковой резины). В результате этого на повторную транспортировку молоковоздушной смеси дополнительно затрачивается энергия, что приводит к увеличению удельной энергоёмкости процесса машинного доения коров [2, 3].

Кроме того, при возврате молоковоздушной смеси из молокосорборной камеры коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов происходит перенос бактерий на сосок вымени коровы, приводящий к повышению риска ее заболеваемости маститом [4, 5].

Исключить обратный отток молоковоздушной смеси из молокосорборной камеры коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов возможно изменением величины вакуумметрического давления в доильном аппарате во время такта «сжатие», что и является целью данной работы.

Основная часть

Изменить величину вакуумметрического давления в доильном аппарате (рис. 1) во время такта «сжатие» можно поступлением порции воздуха через

шлюзовые каналы 3, выполненные в виде щели, путем рассечения насквозь стенки сосковой резины. Во

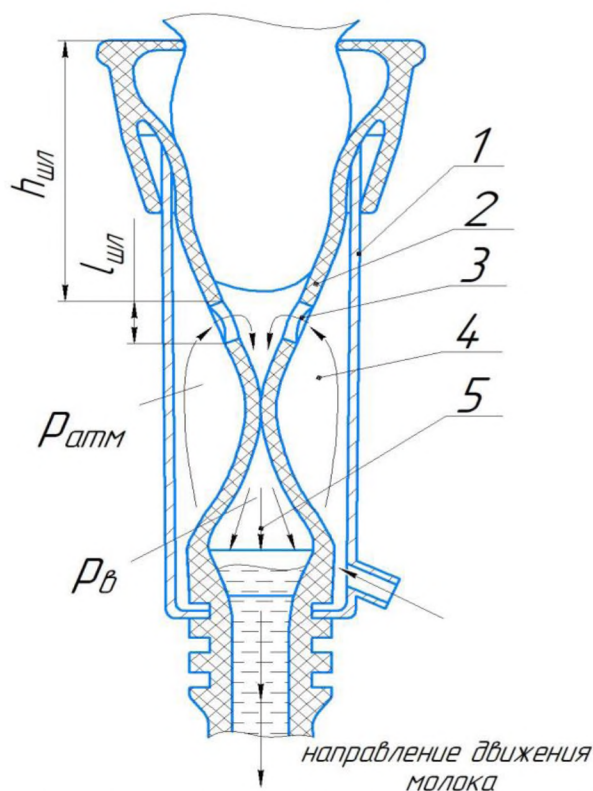


Рисунок 1. Схема доильного стакана со шлюзовыми каналами: 1 – гильза доильного стакана; 2 – сосковая резина; 3 – шлюзовый канал; 4 – межстенная камера; 5 – подсосковая камера

время такта «сжатие» за счет атмосферного давления в межстенной камере 4 ($p_{атм.}$) и вакуумметрического в подсосковой камере 5 ($p_в$) стенки сосковой резины 2 сжимаются и сомкнутые смежные створки шлюзового канала 3 открываются. В этот момент воздух из межстенной камеры 4 перетекает в подсосковую камеру 5, тем самым снижая величину вакуума во время такта «сжатие» в подсосковой камере доильного стакана на величину $p_{шл.}$, равную величине повышения вакуума при переходе к такту «сосание».

Новизна предложенного технического решения подтверждена патентами на изобретение (№ 22689 ВУ; № 22713 ВУ) [5, 6].

Для исключения повышения вакуума при разжатии стенок сосковой резины, приводящего к обратно-

му оттоку молоковоздушной смеси из молокоборной камеры коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов, необходимо определить конструктивные параметры шлюзовых каналов.

Для выполнения поставленной задачи были определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс работы доильного аппарата, среди которых выделили факторы с наибольшим влиянием на поступление воздуха через шлюзовые каналы (табл. 1).

Экспериментальные исследования по определению влияния изменения вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана на энергоемкость процесса машинного доения проводились на доильной установке «Westfalia» (рис. 2) с использованием доильного аппарата со шлюзовыми канала-

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов при проведении экспериментальных исследований по определению влияния изменения вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана на энергоемкость процесса машинного доения

Наименование фактора	Кодированное обозначение	Натуральное обозначение	Интервалы варьирования	Уровни варьирования		
				-1	0	+1
Высота расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины, мм	X_1	$h_{шл}$	25	40	65	90
Длина шлюзовых каналов, мм	X_2	$l_{шл}$	5	8	13	18
Количество шлюзовых каналов, шт.	X_3	$n_{шл}$	1	1	2	3



Рисунок 2. Общий вид экспериментальной установки Westfalia:
1 – доильная установка «Westfalia»; 2 – тестер VPR-100 Delaval; 3 – газовый счетчик РБГ У G2,5А; 4 – доильный аппарат с изменяемым вакуумметрическим давлением; 5 – искусственное вымя

ми, расположенными в доильных стаканах, искусственного вымени, счетчика газа РБГ У G2,5А и тестера VPR – 100 Delaval.

Для проведения экспериментальных исследований использовался доильный аппарат (рис. 3), состоящий из доильных стаканов 1, коллектора 2 и шлюзовых каналов 3, выполненных в стенке сосковой резины доильного стакана 1. Шлюзовые каналы при этом были со значениями параметров, указанными в таблице 1.



Рисунок 3. Доильный аппарат с изменяемым вакуумметрическим давлением во время такта «сжатие»: 1 – доильный стакан с изменяемым вакуумметрическим давлением; 2 – коллектор; 3 – шлюзовый канал, выполненный в стенке сосковой резины

После обработки полученных результатов экспериментальных исследований было получено трехфакторное ортогонализированное уравнение регрессии второго порядка в закодированном и раскодированном виде:

$$Y = 2,883 - 0,0979X_1 - 0,0911X_2 + 0,1782X_1^2 + 0,1489X_2^2 + 0,1410X_3^2 \quad (1)$$

$$\Theta = 6,150 - 0,0409h_{шл} - 0,173l_{шл} - 0,564n_{шл} + 0,000285h_{шл}^2 + 0,00595l_{шл}^2 + 0,141n_{шл}^2 \quad (2)$$

По результатам полученных уравнений регрессии построены графические зависимости, представленные на рисунке 4.

Анализ графических зависимостей на рисунке 4 показал, что при параметрах доильной установки: $p_b = 40$ кПа, $\gamma_n = 62$ мин⁻¹ и соотношении тактов «сосание» и «сжатие» 60/40, значениях конструктивных параметров шлюзовых каналов: $h_{шл} = 72$ мм, $l_{шл} = 15$ мм, $n_{шл} = 2$ шт., энергоёмкость процесса машинного доения снижается с 3,35 кВт·ч/т до 3,036 кВт·ч/т.

Практическое внедрение полученных результатов исследований осуществлялось на молочно-товарной ферме «Веселое» в СХФ ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод» «Светлая Нива»

на доильной установке «Westfalia». Для оценки экономической эффективности внедрения разработанного доильного аппарата по сравнению с серийным были отобраны две группы животных с одинаковым средним удоём. Первая группа доилась серийным доильным аппаратом, а вторая – доильным аппаратом с изменяемым вакуумметрическим давлением.

Кроме того, в процессе производственного внедрения доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением тестером VPR–100 Delaval контролировалось вакуумметрическое давление, расход воздуха в доильном аппарате, частота пульсаций и время доения животных (рис. 5) [7-10].

Результаты производственного внедрения модернизированного доильного аппарата представлены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 свидетельствует о том, что расход воздуха в доильном аппарате с изменяемым вакуумметрическим давлением по сравнению с серийным увеличился с 2,61 м³/ч до 2,95 м³/ч (13 %), годовой расход электроэнергии привода вакуумного насоса доильной установки снизился с 196,3 кВт·ч до 179,2 кВт·ч (9,5 %), число часов работы доильного аппарата в год снизилось с 939,8 ч до 887,5 ч (3,6 %).

Расчет экономической эффективности использования доильных аппаратов на МТФ «Веселое» СХФ ОАО «УКХ ММЗ» «Светлая Нива» проводился согласно ТКП 151-2008 «Методы экономической оценки. Порядок определения показателей» [11]. Основные результаты расчета представлены в таблице 3.

На основании данных таблицы 3 установлено, что производительность доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением по сравнению с серийным увеличилась с 6,49 коров/ч до 6,87 коров/ч (5,9 %), энергоёмкость процесса машинного доения снизилась с 3,69 кВт·ч/т до 3,37 кВт·ч/т (9,5 %), удельные эксплуатационные издержки снизились с 131,51 руб./т до 124,67 руб./т (5,5 %), срок возврата капитала составит 0,48 года.

Коэффициент снижения энергоёмкости процесса машинного доения животных определим по формуле [12, с. 29]:

$$K_e = \frac{E_{п2}}{E_{п1}} = \frac{3,37}{3,69} = 0,913, \quad (3)$$

где $E_{п1}$ – удельная энергоёмкость работы доильного аппарата Westfalia, кВт·ч/т;

$E_{п2}$ – удельная энергоёмкость работы доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением, кВт·ч/т.

Уровень интенсификации процесса машинного доения определим по формуле [12, с. 30]:

$$I_e = (1 - K_e)100 = (1 - 0,913)100 = 8,7 \%. \quad (4)$$

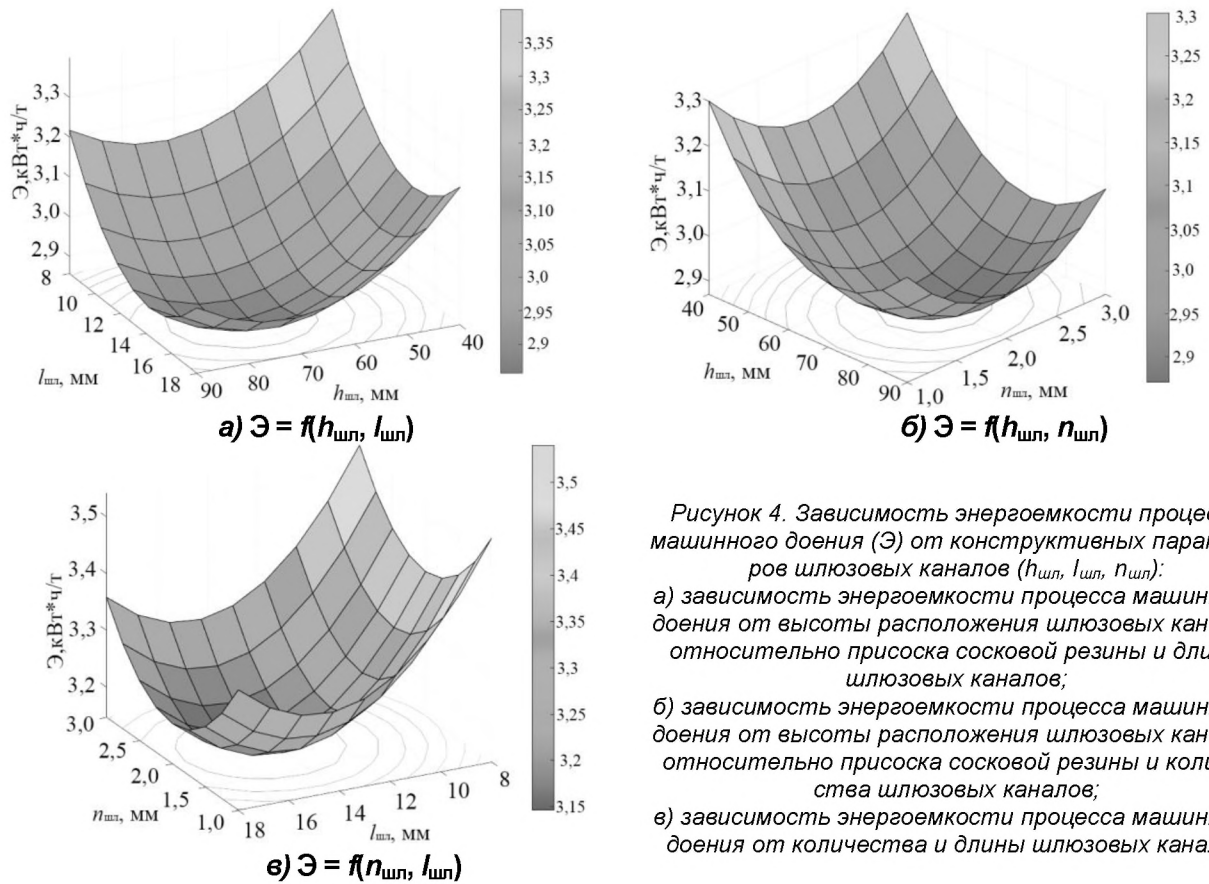


Рисунок 4. Зависимость энергоёмкости процесса машинного доения (Ξ) от конструктивных параметров шлюзовых каналов ($h_{\text{шл}}, l_{\text{шл}}, n_{\text{шл}}$):

- а) зависимость энергоёмкости процесса машинного доения от высоты расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины и длины шлюзовых каналов;*
- б) зависимость энергоёмкости процесса машинного доения от высоты расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины и количества шлюзовых каналов;*
- в) зависимость энергоёмкости процесса машинного доения от количества и длины шлюзовых каналов*

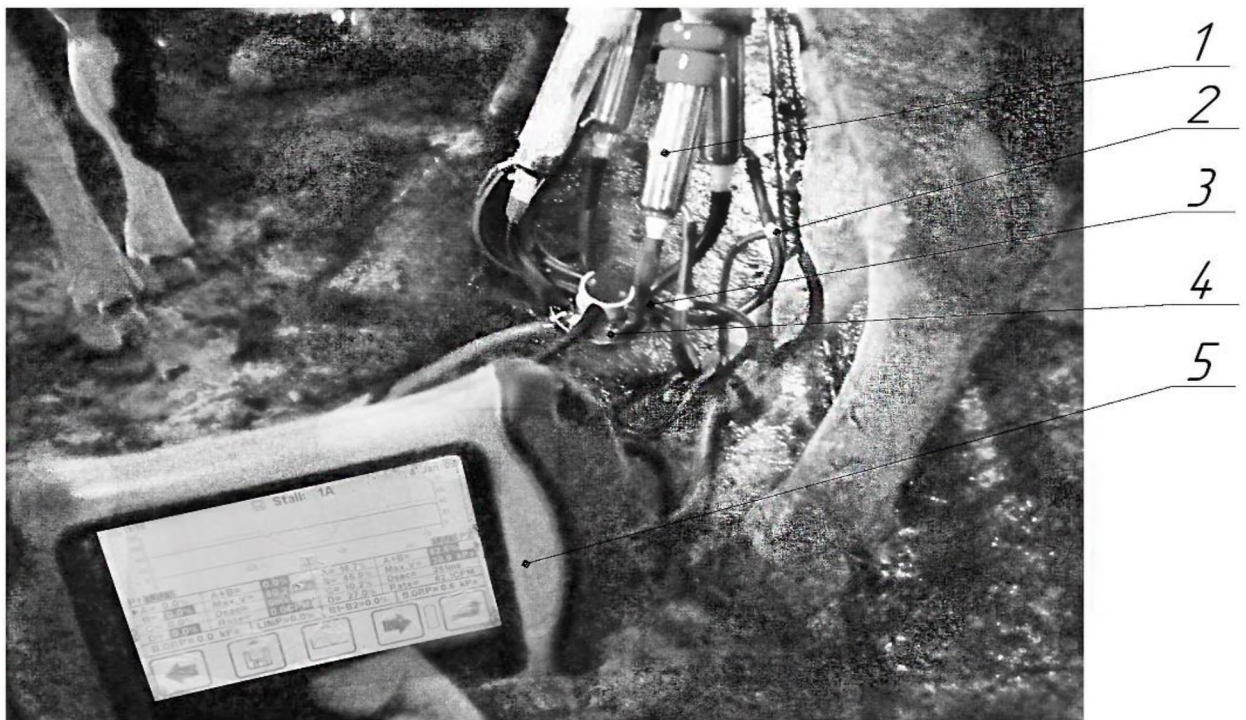


Рисунок 5. Регистрация параметров доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением в условиях животноводческой фермы СХФ ОАО «УКХ ММЗ» «Светлая Нива»: 1 – доильный стакан с изменяемым вакуумметрическим давлением; 2 – шланг для измерений пульсационных характеристик доильного аппарата в процессе машинного доения животного; 3 – шланг для измерений величины вакуумметрического давления в подсосковой камере; 4 – коллектор доильного аппарата; 5 – пульсометр VPR-100 Delaval

Таблица 2. Результаты производственного внедрения модернизированного доильного аппарата со шлюзовыми каналами, выполненными в стенках сосковых резин доильных стаканов

Показатели	Значения		Отклонения +/-
	Доильный аппарат Westfalia	Модернизированный доильный аппарат (со шлюзовыми каналами)	
Вакуумметрическое давление, кПа	40	40	-
Частота пульсаций, мин ⁻¹	60	62	+2
Расход воздуха в доильном аппарате, м ³ /ч	2,61	2,95	+0,34
Годовой расход электроэнергии на привод вакуумного насоса доильной установки, кВт·ч	196,3	179,2	-17,1
Годовой удой молока на ферме контрольной группы коров, т	53,25	53,25	-
Число часов работы доильного аппарата в год, ч	939,8	887,5	-52,3

Таблица 3. Основные показатели определения экономической эффективности использования сравниваемых доильных аппаратов

Показатели	Доильный аппарат Westfalia	Модернизированный доильный аппарат (со шлюзовыми каналами)	Откл. +/-
Балансовая стоимость доильного аппарата, руб.	338,00	511,67	+173,67
Производительность доильного аппарата, коров / ч	6,49	6,87	+0,38
Энергоемкость процесса работы доильного аппарата, кВт·ч/т	3,69	3,37	-0,32
Средние годовые надои контрольной группы коров, т	53,25	53,25	-
Годовые эксплуатационные затраты, руб.	7002,92	6638,55	-461,83
Удельные эксплуатационные издержки, руб./т	131,51	124,67	-8,67
Чистый дисконтированный доход, руб.	1523,72		
Срок возврата капитала, лет	0,48		

Экономическая эффективность использования доильного аппарата со шлюзовыми каналами достигается за счет исключения повышения вакуума при разжатии сосковой резины, приводящего к исключению затрат энергии на повторную транспортировку молока и увеличению производительности доильного аппарата. В результате этого снижаются удельные эксплуатационные издержки на тонну надоев молока.

Тогда, годовой экономический эффект использования доильной установки с изменяемым вакуумметрическим давлением на МТФ «Веселое» определим по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{МТФ}} = n_{\text{ст}} Q_{\text{ж}} I_{\text{экс.}} = 260 \cdot 5,03 \times 8,67 = 11\,338,6 \text{ руб.}, \quad (5)$$

где $n_{\text{ст}}$ – количество дойных коров на МТФ «Веселое», шт.;

$Q_{\text{ж}}$ – средняя годовая продуктивность коров на МТФ «Веселое», т/год;

$I_{\text{экс.}}$ – экономия эксплуатационных издержек, руб./т, $I_{\text{экс.}} = 8,67$ руб./т (табл. 3).

Прогнозируемый совокупный народнохозяйственный экономический эффект от использования процесса машинного доения с изменяемым вакуумметрическим давлением во время такта «сжатие» определим по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{н}} = Q_{\text{стр}} I_{\text{экс.}} = 7871000 \cdot 8,67 = 68\,241\,570 \text{ руб.}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{стр}}$ – производство молока в Республике Беларусь в 2022 году, тыс. т, $Q_{\text{стр}} = 7871$ тыс. т [13].

Закключение

1. Исключить реверсивное движение молока из молокооборной камеры коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов можно поступлением воздуха в подсосковую камеру доильного стакана из межстенной через шлюзовые каналы во время такта «сжатие».

2. По результатам лабораторных исследований установлено, что при параметрах доильной установки: $p_{\text{в}} = 40$ кПа, $\chi_{\text{д}} = 62$ мин⁻¹, соотношении тактов «сосание» и «сжатие» 60/40 и параметрах шлюзовых каналов, выполненных в стенке сосковой резины доильного стакана, $h_{\text{шл}} = 72$ мм, $l_{\text{шл}} = 15$ мм, $n_{\text{шл}} = 2$ шт., энергоемкость процесса работы доильного аппарата снизится с 3,35 кВт·ч/т до 3,036 кВт·ч/т.

3. Результаты производственной проверки доильного аппарата с предлагаемым доильным стаканом в условиях СХФ ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод»» «Светлая Нива» показали, что энергоемкость процесса машинного доения снизи-

лась с 3,69 кВт·ч/т до 3,37 кВт·ч/т или на 9,5 %, потребляемая мощность на привод вакуумного насоса уменьшилась с 0,209 кВт до 0,202 кВт или на 4 %, а производительность доильного аппарата в сравнении с серийным увеличилась с 6,49 коров/ч до 6,87 коров/ч или на 5,9 %.

4. Экономическая эффективность использования доильного аппарата со шлюзовыми каналами на МТФ «Веселое» СХФ ОАО «УКХ ММЗ» «Светлая Нива» составит 8,67 рубля на тонну надоев молока, уровень интенсификации равен 8,7 %, срок окупаемости – 0,48 года.

Годовой народнохозяйственный экономический эффект составит 68 241, 57 тыс. рублей (в ценах 2022 года).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мишуров, Н.П. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоёмкости производства молока: науч. издание / Н.П. Мишуров. – Москва: Росинформагротех, 2010. – С. 4-5.

2. Бондарев, С.Н. Влияние изменения вакуумметрического давления в доильном стакане на энергоёмкость процесса машинного доения коров / С.Н. Бондарев, А.В. Китун // Агропанорама. – 2022. – № 4. – С. 7-13.

3. Бондарев, С.Н. Разработка и производственная апробация доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением / С.Н. Бондарев, А.В. Китун // Агропанорама. – 2022. – № 5. – С. 14-18.

4. Григорьев, Д.А. Технология машинного доения коров на основе конвергентных принципов управления автоматизированными процессами: монография / Д.А. Григорьев, К.В. Король. – Гродно: ГГАУ, 2017. – 216 с.

5. Доильный стакан: пат. 22689 Респ. Беларусь, МПК А 01J5/08 / С.Н. Бондарев, В.И. Передня, А.В. Китун, Н.Н. Романюк; заявитель Белорусский гос. аграрн. техн. ун-т. – № 20180057, заявл. 14.02.2018;

опубл. 02.07.2019 // Офиц. бюл. / Нац. Центр интел. собственности. – 2019. – № 4. – С. 50.

6. Доильный стакан: пат. 23390 Респ. Беларусь, МПК А 01J5/08 / С.Н. Бондарев, В.И. Передня, А.В. Китун, Н.Н. Романюк; заявитель Белорусский гос. аграрн. техн. ун-т. – № 20190267, заявл. 17.09.2018; опубл. 25.02.2021 // Офиц. бюл. / Нац. Центр интел. собственности. – 2019. – № 4. – С. 50.

7. Milking machine installations – Construction and performance: ISO 5707:2007. – Введ. 15.02.2007. – Geneva: International Organization for Standardization, 2007. – 58 с.

8. Установки и аппараты доильные для коров. Методы испытаний: ГОСТ 34496-2018. – Введ. 01.07.2020. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 49 с.

9. Установки доильные. Конструкции и техническая характеристика: ГОСТ 28545 – 90. – Введ. 01.07.91. – Москва: Гос. комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. – 30 с.

10. Milking machine installations – Mechanical tests: ISO 6690:2007. – Введ. 15.02.2007. – Geneva: International Organization for Standardization, 2007. – 46 с.

11. Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей = Выпрабаванне сельскагаспадарчай тэхнікі. Методы эканамічнай ацэнкі. Парадак вызначэння паказчыкаў: ТКП 151–2008 (02150). – Введ. 01.02.2009. – Минск: Минсельхозпрод, 2009. – 20 с.

12. Энергоресурсосбережение в животноводстве / Н.С. Яковчик [и др.]. – Минск: Дэбор, 1998. – 292 с.

13. Основные показатели производства отдельных видов продукции животноводства в Республике Беларусь за 2022 год [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaystvo/selskoe-hozyaystvo/godovye-dannye/>. – Дата доступа: 13.03.2023 г.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 21.03.2023

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.

Стоимость подписки на 1-е полугодие 2023 года: для индивидуальных подписчиков - 39,84 руб., ведомственная подписка - 41,94 руб.